VI. OCHRONA PRZECIWPOŻAROWA BUDYNKÓW

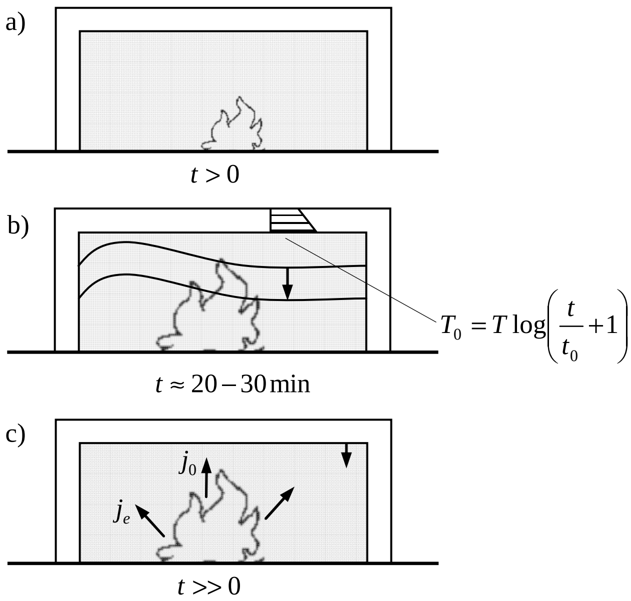
34 Etapy rozwoju pożaru

Ochrona przeciwpożarowa uwzględnia następujące fazy rozwoju pożaru:

I. Lokalna inicjacja pożaru i jego narastanie .
II. Radiacyjna i konwekcyjna wymiana ciepła między źródłem pożaru a konstrukcją.
III. Gwałtowne wydzielania się dymu, gazów spalinowych i toksyn.
IV. Przepływy ciepła w elementach konstrukcji.
V. Ewolucja naprężeń wywołane pożarem oraz konsekwencje pożaru dla trwałości i warunków eksploatacyjnych budowli.

Podstawy wymóg ochrony przeciwpożarowej to takie zaprojektowanie budynku, łącznie z drogami ewakuacji, aby w ciągu określonego czasu (min. 20min) od inicjacji pożaru ludzie mogli opuścić obiekt.

Poszczególne fazy narastania pożaru w pomieszczeniach budynku przedstawia się na rysunku 36.1.



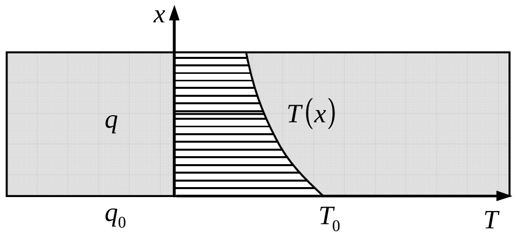
Rys.34.1. Fazy rozwoju pożaru:
a) lokalna inicjacja pożaru, b) pożar pełny, c) zanikanie pożaru

W pierwszej kolejności należy wyznaczyć rozkłady temperatury w przekrojach konstrukcji wywołane przez przekaz energii od miejsca spalania do powierzchni konstrukcji. Mamy tu do czynienia głównie z konwekcyjnym i radiacyjnym przepływem ciepła, którego podstawy podano w II rozdziale pracy.

Wpływ ten w uproszczonej formie przyjmuje się jako zmianę temperatury θ na powierzchni konstrukcji w funkcji czasu

$$\theta = T - T_0 = 345 \lg (8t+1)\,, \qquad (34.1)$$

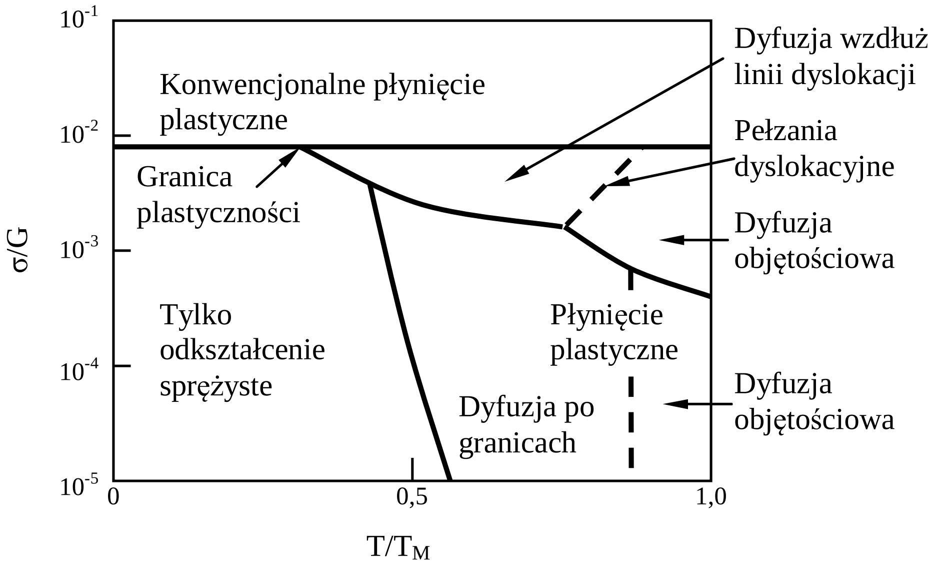
gdzie T, T_0 temperatura aktualna i początkowa ^{0}C, t – czas w minutach.
Znając rozkład temperatur w przekroju pręta, uzyskany z równania przewodnictwa, wyznaczamy deformacje termiczne, a dalej naprężenia.



Rys.34.2. Rozkład temperatury w przekroju elementu

35 Naprężenia pożarowe w konstrukcji stalowej

Znając rozkład temperatur jesteśmy w stanie wyznaczyć naprężenia oraz określić miejsca, w których konstrukcja ulegnie zniszczeniu. Potrafimy jednak uwzględniać tylko liniowe rozkłady temperatur. Wobec tego należy przekrój zginany podzielić na warstwy i w każdej z nich założyć liniowe rozkłady temperatury lub przyjąć, że na dole warstwy wystąpi temperatura T_0 a na górze T. Rozkład temperatur wywoła w układzie siłę osiową i momenty zginające.



Rys.35.1. Mechanizmy odkształcenia plastycznego przy różnych naprężeniach i temperaturach

Rozważania mechaniczne rozpoczniemy od przyjęcia rozkładu deformacji ε na część sprężystą ε_e, lepką ε_c i cieplną ε_T

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_c + \varepsilon_T \,. \tag{35.1}$$

Otrzymamy stąd równanie na naprężenia σ w *teorii starzenia*

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + A(T)\sigma^m + \alpha_T\, T \,, \tag{35.2}$$

gdzie $\varepsilon_e = \dfrac{\sigma}{E}$, $\varepsilon_c = A(T)\sigma^m$, $\varepsilon_T = \alpha_T T$.

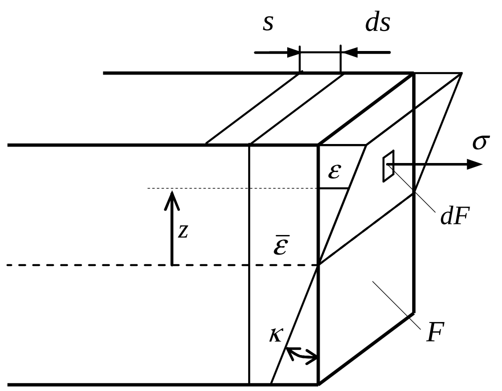
Teoria *lepkiego płynięcia* analizuje przyrosty stanu deformacji w czasie pożaru. Teoria ta lepiej opisuje proces

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_e + \dot{\varepsilon}_c + \dot{\varepsilon}_T \,. \tag{35.3}$$

Równania fizyczne w tym przypadku mają formę

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \dot{B}(T)\sigma^n + \alpha_T \dot{T} \,. \tag{35.4}$$

W równaniu tym prędkość odkształceń lepkich jest proporcjonalna do n-tej potęgi naprężeń.



Rys.35.2. Deformacje i naprężenia pożarowe

Równanie na odkształcenia włókien przekroju w czasie pożaru mają postać

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\kappa}\ z + \dot{\bar{\varepsilon}}\ . \tag{35.5}$$

W dalszych rozważaniach dla prostoty przyjmujemy, że $\bar{\varepsilon} \approx 0$.

Równanie fizyczne teorii lepkiego płynięcia przy uwzględnieniu równań geometrycznych (35.5)

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \dot{B}(T)\sigma^n + \int_F \alpha_T z \dot{T} dF \tag{35.6}$$

i scałkowaniu po zginanym przekroju prowadzi do reakcji

$$\dot{\kappa} \int_F z^2 dF = \frac{1}{E} \int_F \dot{\sigma}\, z\, dF + \int_F \dot{B}(T)\sigma^n\ zdF + \int_F \alpha_T\, z \dot{T} dF\ , \tag{35.7}$$

z której wyznaczamy prędkość zmian krzywizny pręta

$$\dot{\kappa} = \frac{\dot{M}}{EI} + \frac{1}{I} \int_F \dot{B}(T)\sigma^n\ zdF + \frac{\alpha_T \hat{T}}{I}\ . \tag{35.8}$$

Z klasycznej mechaniki konstrukcji znana jest relacja między prędkościami przemieszczeń i krzywizn postaci

$$\dot{\mathbf{u}} = \int_S \dot{\kappa}\, \mathbf{a}\, ds\ . \tag{35.9}$$

Podobnie w mechanice konstrukcji, siły wewnętrzne są liniowymi funkcjami obciążeń **P** i sił nadliczbowych **X**

$$\dot{M} = \mathbf{a}^T \dot{\mathbf{X}} + \mathbf{b}^T \dot{\mathbf{P}} . \tag{35.10}$$

Wstawiając (35.7_3) do (35.7_1) a następnie do (35.7_2) otrzymujemy równania statyki

$$\dot{\mathbf{u}} = \int_S < \frac{1}{EI}\left(\mathbf{a}^T \dot{\mathbf{X}} + \mathbf{b}^T \dot{\mathbf{P}}\right) + \frac{1}{I}\int_F \dot{B}(T)\sigma^n \, z \, d\, F + \frac{\alpha_T \hat{T}}{I} > \mathbf{a} \, ds \tag{35.11}$$

konstrukcji stalowych w czasie pożaru. Z tego ogólnego równania jako przypadek szczególny, kiedy $\dot{\mathbf{u}} = 0$, wynikają równania, z których można wyznaczyć najpierw siły nadliczbowe **X**, a dalej naprężenia w konstrukcji stalowej w czasie pożaru.

Analizować będziemy teraz okres przejściowy od pełnego pożaru do jego zanikania, kiedy występują największe, prawie ustalone stany naprężeń Wtedy można założyć, że $\dot{\mathbf{P}} \approx 0$ oraz $\dot{\mathbf{X}} \approx 0$. Ulegną wówczas dużemu uproszczeniu równanie macierzowe (35.9). Będzie

$$\dot{\mathbf{u}} = \int_S \{ \frac{1}{I} \int \dot{B}(T)\sigma^n z \, dF + \alpha_T \frac{\dot{T}}{I} \} \mathbf{a} \, ds \tag{35.12}$$

Wtedy też zmiany prędkości przemieszczeń $\Delta\dot{\mathbf{u}} = \dot{\mathbf{u}}(t+h) - \dot{\mathbf{u}}(t)$ jako prognoza stopnia wzrostu deformacji popożarowych, określone zostaną nierównością:

$$\Delta\dot{\mathbf{u}} = \dot{\mathbf{u}}(t+h) - \dot{\mathbf{u}}(t) = \int_S \{ \frac{1}{I} \int_F \frac{\partial \dot{B}}{\partial T} \dot{T} h \, G \, \bar{z} \, dF + \alpha_T \frac{\partial \dot{T}}{\partial t} h \} \mathbf{a} \, ds \ \leq \ \Delta\dot{\mathbf{u}}_{gr} . \tag{35.13}$$

<u>Przykład VI.1</u>

Należy oszacować prędkości narastania przemieszczeń w statycznie wyznaczalnej konstrukcji stalowej objętej pożarem. Znamy rozkłady temperatur w poszczególnych przekrojach konstrukcji T(t ; s, z) oraz obciążenia stałe $\mathbf{P}$, tak że $\dot{\mathbf{P}} = 0$.

<u>Odpowiedź:</u>

Korzystać będziemy z ogólnej zależności (35.8) na prędkość przemieszczeń $\mathbf{u}$. W zależności tej dla $\mathbf{X} = 0$ - zadanie statycznie niewykonalne i $\dot{\mathbf{P}} = 0$, zniknie pierwsza całka. Stąd

$$\dot{\mathbf{u}}(t; s_n) = \frac{1}{I} \int_S < \int_F \dot{B}(T)\,\sigma^n z \, dF + \alpha_T \hat{T} > \mathbf{a}(s, s_n) \, ds .$$

Wektor przemieszczeń $\mathbf{u}^T = (u_1, u_{2,} ...u_n)$ zawiera przemieszczenia w n-punktach konstrukcji, natomiast wektor $\mathbf{a}^T = [M_1(s_1),...M_1(s_n)]$ - to układ momentów pochodzących od sił jednostkowych przyłożonych kolejno w przekrojach $\mathrm{s}_1, \mathrm{s}_2, ..., \mathrm{s}_\mathrm{n}$. W wytycznych ochrony ogniowej znajdują się ograniczenia prędkości narastania przemieszczeń $\dot{u}_{gr} [\frac{m}{\sec}]$. Ich spełnienie w naszym zadaniu prowadzi do relacji

$$\sqrt{(\dot{\mathbf{u}}^T \cdot \dot{\mathbf{u}})} \leq \dot{u}_{gr} .$$